

С.В.КИПРИЧ; А.А.ПЕТКОВ, канд. техн. наук;
Д.Г.КОЛИУШКО, канд. техн. наук; НТУ "ХПИ"

К ВОПРОСУ ОБ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТОВ МОЛНИЕЗАЩИТЫ

У статті представлений аналіз існуючих засобів автоматизованого розрахунку блискавкозахисту.

In article the analysis of existing ways of the automated calculation of lightning protection is submitted.

Постановка проблемы. Расчет молниезащиты направлен на обеспечение во время грозовой деятельности безопасной работы персонала и надежного функционирования электрооборудования. Важность этой проблемы усиливается из-за применения все более энергоемкого и дорогостоящего оборудования, нарушения нормальной работы или выход из строя которого по причине удара молнии, сопровождается значительным материальным ущербом. Кроме того, эта задача становится все более и более актуальной из-за повсеместного перехода на микропроцессорную базу, которая чувствительна к помехам, возникающим в момент протекания токов молнии.

Анализ нормативной базы. Одним из способов защиты объектов от прямого поражения молнией является установка молниеотводов, создающих защитную зону. Существующие национальные и международные нормативные документы [1-6], регламентирующие мероприятия по обеспечению молниезащиты зданий и сооружений, отражают основные требования к способам построения зон защиты различных типов молниеотводов:

- 1) геометрическому построению зон защиты конической формы [1-6];
- 2) натурному моделированию зон защиты путем обкатывания сферической оболочкой [4-6].

Однако для построения зоны защиты большого количества молниеотводов, защищающих группу объектов, указанные способы обладают значительной трудоемкостью, большой вероятностью возникновения ошибок на этапе геометрических построений и моделирования, а также при интерпретации результатов, что связано с постоянным участием человека-оператора. Использование указанных способов построения позволяет решать задачу анализа зон защиты, однако практически исключает возможность решения задачи синтеза системы молниезащиты, содержащей более одного молниеотвода, что характерно для большинства проектных решений. Рациональное проектирование системы молниезащиты (по критерию оптимальных финансовых и временных затрат) возможно только в автоматизированном режиме.

Отсутствие единых решений при проектировании и анализе молниезащиты обуславливает необходимость систематизации существующих методик и средств.

Целью настоящей статьи является анализ средств для обеспечения автоматизированных расчетов молниезащиты.

Материалы и результаты исследования. Процедуры проектирования и анализа систем молниезащиты, проводимые в автоматизированном режиме должны иметь соответствующее методическое и программное обеспечение, основными компонентами которого являются:

1. Математические модели зон защиты различных типов молниеотводов, построенные на основании требований, изложенных в нормативных документах.
2. Методика выбора оптимальных параметров одиночных молниеотводов для защиты одного здания или группы.
3. Методика оценки молниезащищенности комплекса зданий и сооружений системой различных типов молниеотводов.
4. Методика построения оптимальной системы молниезащиты комплексов зданий и сооружений с использованием различных типов молниеотводов.
5. Программные средства для проектирования молниезащиты комплексов зданий и сооружений.

Рассмотрим каждый из компонентов.

Для автоматизации расчетов молниезащиты наиболее эффективны программы, в основе которых лежат аналитические зависимости, которые описывают поверхности зоны защиты и позволяют определить высоту этой зоны над любой точкой грунта.

Авторами был проведен анализ публикаций, посвященных выводу аналитических выражений для одиночного стержневого и одиночного тросового молниеотводов, результаты которого сведены в таблицы 1-2.

Таблица 1

Одиночный стержневой молниеотвод		
Тип зоны защиты	Нормативный документ, регламентирующий построение зоны защиты	Источник, содержащий аналитические соотношения
Конический тип при задании габаритов зоны защиты	[1-3]	[7]
Конический тип при задании угла при вершине молниеотвода	[2-6]	–
Зона защиты, образованная обкатыванием фиктивной сферой	[4-6]	[7]

Таблица 2

Одиночный тросовый молниеотвод		
Тип зоны защиты	Нормативный документ, регламентирующий построение зоны защиты	Источник, содержащий аналитические соотношения
Конический тип при задании габаритов зоны защиты	[1-3]	[8]
Конический тип при задании угла при вершине молниеотвода	[2-6]	–
Зона защиты, образованная обкатыванием фиктивной сферой	[4-6]	[8, 9]

При проектировании системы молниезащиты важно не только проанализировать защищенность комплекса объектов от поражения молнией, а также, с экономической и технологической точки зрения, определить оптимальные параметры молниеотвода, защищающего эту систему, если таковой имеется. Под параметрами оптимизации в данном случае понимается высота молниеотвода и место его размещения. Анализ показывает, что данную задачу представляется возможным решать только численными методами. Для определения минимальной высоты молниеотвода можно использовать, например, метод пошагового приращения или метод дихотомии [10].

Известны работы [7, 8], посвященные этому вопросу: в [7] приведена методика выбора оптимальных параметров одиночного стержневого молниеотвода, а в [8] – одиночного тросового молниеотвода. В [7] для нахождения минимальной высоты молниеотвода использовался метод дихотомии, а в [8] – метод пошагового приращения.

Выбор оптимальных параметров одиночного стержневого молниеотвода заключается в определении минимальной высоты молниеотвода, устанавливаемого на каждом объекте, допускающем эту установку, или грунте, и выборе из них молниеотвода минимальной высоты [7]. Высота и место размещения этого молниеотвода и будут искомыми оптимальными параметрами.

Выбор оптимального варианта размещения и высоты тросового молниеотвода, описанный в [8], заключается в следующем:

- нахождение всех возможных вариантов размещения одиночного тросового молниеотвода;
- определение для каждого варианта минимальной высоты подвеса троса над поверхностью грунта, при которой выполняется условие защищенности системы объектов или констатации факта о невозможности одновременной защиты всех объектов системы;
- выбор тросового молниеотвода, у которого приведенные экономические затраты при производстве и монтаже минимальны.

Таким образом, методика синтеза одиночных молниеотводов (стержневого и тросового) практически одинакова, различаются лишь аналитические выражения для расчета зон защиты этими молниеотводами.

В [11] описана программная реализация определения минимальной высоты одиночного стержневого молниеотвода, защищающего систему объектов методом пошагового приращения. Авторами были разработаны программы в среде электронных таблиц Microsoft Excel. Исходными данными для расчета являются координаты расположения объектов и молниеотвода, надежность защиты, а также величина шага изменения высоты молниеотвода.

Компоненты 3 и 4 также являются актуальными в настоящее время. В реальных условиях анализ или синтез молниезащиты производится чаще всего для некоторого (иногда очень большого) количества зданий и сооружений различной формы, при этом в качестве системы молниезащиты могут выступать любые комбинации молниеотводов (например, нефтеперекачивающие станции, открытые распределительные устройства электрических станций и подстанций и т. п.). Сложность решения данной задачи заключается в необходимости учитывать сложность геометрических форм зданий и сооружений, а также взаимное влияние молниеотводов друг на друга. Для оптимизации системы молниезащиты комплекса зданий и сооружений с использованием различных типов молниеотводов авторами предложена следующая методика:

1) поиск места расположения одиночного молниеотвода (стержневого или тросового), способного защитить все объекты. Если таковой отсутствует, то выбирается молниеотвод, "закрывающий" наибольшее количество объектов. Находится минимальная высота этого молниеотвода и выполняется снижение высоты его до того момента, когда из зоны защиты будет исключен хотя бы один объект;

2) поиск места расположения остальных молниеотводов, "закрывающих" незащищенные объекты с выбором минимальной высоты по условию, указанному в п. 1;

3) проверка зоны защиты при поочередном присваивании каждому из молниеотводов максимальной высоты, а затем проведение расчета согласно п. 1-2;

4) если вариантов, рассчитанных по 1-3 пункту несколько, то принимается вариант с наименьшей суммарной высотой.

Пятый компонент приобретает решающее значение при расчетах молниезащиты. Так как полученные аналитические выражения для таких расчетов очень громоздкие [7-9], то их выполнение наиболее целесообразно при использовании компьютера. Проведен анализ работ, посвященных разработке программ для оценки молниезащищенности [11-17], на основании которого можно сделать вывод, что существует ряд программных реализаций расчета молниезащиты, каждая из которых обладает теми или иными ограничениями. Авторами были выделены наиболее важные признаки оценки указанных программ и результаты анализа (сравнения) сведены в таблицу 3.

В таблице 3 приняты следующие сокращения и условные обозначения: П – параллелепипед; Ц – цилиндр; ВЦ – вертикальный цилиндр; ГЦ – горизонтальный цилиндр; ОЛФ НС – объект любой формы, представленный набором стержней; ОС – одиночный стержневой; ДС – двойной стержневой; МС – многократный стержневой; ОТ – одиночный тросовый; ДТ – двойной тросовый; МТ – многократный тросовый; 2D – двумерная форма; 3D – трехмерная форма.

Каждая рассмотренная программа имеет те или иные недостатки по сравнению с другими, т. е. в совокупности они представляют собой набор определенных решенных частных задач, возникающих при проектировании и анализе молниезащиты зданий и сооружений. Поэтому главной целью является создание единого программного комплекса, позволяющего осуществлять анализ и синтез систем молниезащиты по всем нормативным документам для произвольного комплекса зданий и сооружений с использованием различных комбинаций молниеотводов. При этом полученные результаты должны быть наглядными и достаточно просто интерпретируемыми.

Выводы.

1. Выделены необходимые компоненты, обеспечивающие автоматизированный расчет молниезащиты.

2. Проведенный анализ показал, что отсутствуют аналитические соотношения для описания поверхностей зон защиты конического типа некоторых видов молниеотводов (двойной стержневой, двух стержневых разной высоты, многократного стержневого, двойного тросового, двух тросовых разной высоты, а также имеющих на практике наклонных тросов), рекомендуемых нормативными документами.

3. Установлено, что в анализируемой литературе не отражены аналитические соотношения для описания зоны защиты конического типа при задании угла при вершине молниеотвода.

4. Предложена методика оптимизации системы молниезащиты комплекса зданий и сооружений с использованием различных типов молниеотводов.

5. Проведен анализ существующих программных продуктов и предложена классификация, на основании которой возможна разработка единого программного комплекса для расчета молниезащиты системы зданий и сооружений молниеотводами различных типов.

Таблица 3

Признаки	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]
Наличие графического интерфейса	–	–	+	Не указано	+	+	+
Количество защищаемых объектов	Неограничено	1	Неограничено	1	Ограничения не указаны	Неограничено	Неограничено
Форма защищаемых объектов	ОЛФ НС	П или Ц	П или Ц	Не указана	П, ВЦ, ГЦ, усеченный конус и сфера	Любая	П
Нормативные документы, по которым ведется расчет	[1]	[1]	[1, 4-6, 18]	[3]	[1, 3, 19]	[1, 4-6]	[1]
Форма графического отображения результатов	–	–	2D, 3D	–	3D	2D, 3D	2D
Возможности синтеза	+	–	–	–	Не указаны	+	+
Типы молниеотводов	ОС	ОС И ОТ	ОС, МС, ОТ, ДТ и сетка	ОС, ОТ, ДС, ДТ	МС и/или МТ	ОС и ОТ	ОС
Возможность анализа молниезащитности	Численно	+	Визуально	Численно	Не указана	Визуально	Визуально
Дополнительно	Возможность выбора минимальной высоты молниеотвода (с указанной точностью), защищающего систему объектов						Экспорт результатов расчетов в документ Microsoft Word, выбор из справочника конструктора и типа реального молниеотвода, высота которого больше либо равна расчетной требуемой высоте

Список литературы: 1. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений (РД 34.21.122-87). М.: Энергоатомиздат, 1989. – 56 с. 2. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 57 с. 3. СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» 4. IEC standard 1024-1 (1990 г.) Protection of structures against lightning. Part 1: General principles. 5. IEC standard 61024-1-1 (1993 г.) Protection of structures against lightning. Part 1: General principles. Section 1: Guide A – Selection of protection levels for lightning protection systems. 6. IEC standard 62305-3. Ed. I/CDV. Protection against lightning. Part 3: Physical damage to structures and life hazard. 7. *Петков А.А., Колиушко Д.Г., Колиушко Г.М.* Выбор оптимальных параметров одиночного стержневого молниеотвода // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Електроенергетика і перетворююча техніка. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2004. – №35. – С. 64-71. 8. *Киприч С.В., Петков А.А., Колиушко Д.Г.* Выбор оптимальных параметров одиночного тросового молниеотвода // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Електроенергетика і перетворююча техніка. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2005. – №49. – С. 36-45. 9. *Петков О.О., Киприч С.В., Колиушко Д.Г.* Розрахунок зони захисту поодинокого тросового блискавковідводу з рівновисокими опорами за методом фіктивної сфери // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2005. – №4. – С. 10 – 17. 10. *Дьяконов В.П.* Справочник по алгоритмам и программам на языке бейсик для персональных ЭВМ. – М.: Наука, 1989. – 240 с. 11. *Киприч С.В., Петков А.А., Колиушко Д.Г.* Определение защищенности системы объектов группой одиночных стержневых молниеотводов в среде электронных таблиц // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка і електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2006. – №17. – С. 46-55. 12. *Серков А.А., Толкачев М.Ю.* Разработка экспертной системы для оценки молниезащиты зданий и сооружений // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Електроенергетика і перетворююча техніка. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2004. – №5. – С. 16-23. 13. *Борисов Р.К., Петров С.Р.* Компьютерные программы для анализа и проектирования устройств заземления и молниезащиты // Первая Российская конференция по заземляющим устройствам: Сборник докладов / Под ред. Ю.В. Целебровского. – Новосибирск: Сибирская энергетическая академия, 2002. – С. 41-43. 14. www.subachev.new.mail.ru 15. *Салин А., Серов В., Третьяков С.* Автоматизация расчета молниезащиты и заземления в среде ElectriCS Storm. – http://www.cadmaster.ru/articles/23_electrics_storm.cfm/ 16. *Колиушко Д.Г., Обруч И.В., Петков А.А.* Программный комплекс для расчетов молниезащиты зданий и сооружений // Физические и компьютерные технологии // Труды 11-й Международной научно-технической конференции. – Харьков: ХНПК "ФЭД", 2005. – С. 344-347. 17. http://www.beroes.front.ru/brs_mz1.htm 18. *Акопян А.А., Базелян Э.М., Горин Б.Н. и др.* Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. ВЭИ, ГНИЭИ, Энергосетьпроект, 1972. 19. СПЭ №212-э «Заземление и молниезащита на тепловых и атомных электростанциях. Справочник по проектированию тепловых электростанций и тепловых сетей», – Теплоэлектропроект, 1974.

Поступила в редколлегию 22.11.06.